

HIZLI FİSYON OLAYI VE FÜZYONA ETKİLERİ

Mevlüt YILMAZ*

ÖZET

Bu çalışmada, füzyonu daha iyi açıklayan makroskopik dinamik bir model üzerinde duruldu. Derin inelastik tepkimeler ve bileşik çekirdek oluşumu arasında yeni bir olay ortaya çıkar: Hızlı fisyon. Hem hızlı fisyonun gözlenebildiği koşullar hem de onun özellikleri tartışıldı. Aynı problem başka bir yaklaşımla, extrapush modeli ile kıyaslandı. Sonuçta birçok deneysel uyarılma fonksiyonlarını oldukça iyi tekrarlayan füzyonun basit bir dinamik modeli gözden geçirildi.

SUMMARY

Fast Fission Phenomenon and Its Implication on Fusion

In this work, a macroscopic dynamical model allowing to understand on fusion is described. A new phenomenon intermediate between deep inelastic reactions and compound nucleus formation appear: Fast fission. The conditions under which fast fission can be observed, its properties are discussed. We make a comparison with another approach of the same problem: The extrapush model. Finally we review a simple dynamical model of fusion which reproduces pretty well a large number of experimental fusion excitation functions.

* Doç.; U.Ü. Necatibey Eğitim Fakültesi, Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü.

1. YENİ KAVRAMLAR GEREKTİREN DENEYSSEL VERİLER

1.1. Kritik Açısal Momentum

Füzyon etki kesiti σ_F , l_{cr} kritik açısal momentumuna şu ifadeyle bağlıdır.

$$\sigma_F = \frac{\pi}{k^2} (l_{cr} + 1)^2 \quad (1)$$

Burada k dalga sayısıdır. Bu denklemde kritik açısal momentum füzyonu veren en büyük l değerindedir.

İlk sorulardan biri, bileşik çekirdek oluşumu ile füzyon arasındaki benzerliğin nasıl açıklanacağıdır. Durum bir bileşik çekirdeğin ne kadar açısal momentum taşıyabileceğine yakından bağlıdır. Örneğin sıvı damlası çalışmaları¹, bileşik çekirdeğin açısal momentumu arttığı zaman, fisyonu karşı etkin duvarın azaldığını gösteriyor. l_{B_f} ile gösterilen bir değer için, bu fisyon duvarı kaybolur. Gerçek anlamda bir bileşik çekirdeği şekillendirmek için biraz zaman gerektiğinden $l \geq l_{B_f}$ olduğunda bileşik bir çekirdek oluşturulamıyacağımızı düşünmek akla yatkındır. Füzyon bileşik çekirdek oluşumuna denk olabildiği durumda l_{cr} daima l_{B_f} den daha küçük olmalıdır. Veriler bunun gerçek olmadığını ve bazı ölçümler l_{cr} 'nin l_{B_f} yi epeyce aşabileceğini gösteriyor. σ_F bütünüyle füzyonu içermiyor, fakat anlamaya bir yardımı olmalıdır.

Sonçta füzyon bileşik çekirdek oluşumu ile tanımlanamıyor. Öyleyse, füzyonun olduğu fakat bileşik çekirdek oluşmadığı $l_{B_f} \leq l \leq l_{cr}$ durumunda ne olur?

1.2. Çok Ağır Sistemler İçin Füzyonun Gözlenmemesi

Mermi ve hedef çok ağır olduğunda bunları birlikte kaynaştırmak mümkün olmuyor². Çok yüksek bombardıman enerjilerinde iki iyonun $Z_1 \cdot Z_2$ atom numaralarının çarpımı 2500-3000'den daha büyük olunca olay gözlenir. Olayın gözlenmemesi, iki ağır çekirdek arasındaki toplam etkileşme potansiyel çukuru- nun yok olmasıyla ilişkilidir. Olayın böyle gerçekleşmesi, bütün üst üste binmeler için Coulomb itmesinin nükleer etkileşmelerden daha kuvvetli olmasındandır.

Füzyonun gözlenemediği limite yakın sistemler Bock ve Ötekiler³ tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Onlar, füzyonun arttığı limite doğru giderken, ölçülen füzyon eşiği ve hafif sistemler için çok iyi sonuçlar veren formülleri kullanarak hesaplanmış olanla aradaki farkın arttığını gözlediler. Füzyon eşiğindeki bu artma füzyon etki kesitinde bir azalmaya götürür. Böyle bir farkın varlığı yeni kavramların ortaya konulmasını gerektirir.

1.3. Yüksek Bombardıman Enerjilerinde Füzyon Etki Kesiti Eksikliği

Füzyon eşiği üzerindeki bombardıman enerjilerinde füzyon etki kesiti, kütle merkezi bombardıman enerjisinin tersi, $\frac{1}{E_{CM}}$ nin işlevi olarak hemen hemen çizgisel olarak artar. Bu durumda σ_F basit olarak

$$\sigma_F = \pi R_{12}^2 \left[1 - \frac{V_{12}}{E_{CM}}\right] \quad (2)$$

ile verilir. Burada R_{12} ve V_{12} sırasıyla, merkezsel çarpışma için füzyon duvarının yeri ve yüksekliğidir.

Daha yüksek bombardıman enerjilerinde deneysel σ_F nın Denk. 2 ile hesaplanan değerden daha küçük olduğu iyi bilinen bir gerçektir. Bu etki kesiti eksikliğini anlamak için önerilen bir görüş⁴ kritik uzaklık kavramıdır. Orta kütleli sistemler için başarılı olan bu yöntem, çok ağır sistemlerin niçin kaynaşamadığını açıklayamıyor.

Her iki durumda, bir füzyon etki kesiti eksikliği bilindiğinden bu noktanın bir öncekiyle ilişkili olduğunu vurgulamalıyız.

2. HIZLI FİSYONUN KURAMSAL İNCELENMESİ

Bir ağır iyon çarpışması sırasında, iyonlar etkileşme bölgesine ulaşmadan önce iki çekirdek değişmez kalırlar. Bağlı hareketteki kinetik enerjinin bir kısmı toplam sistemin özünde olan uyarılmaya dönüştürülebilir. Bu şekildeki enerji kaybı etkileşme bölgesinde sistemi tuzaklanmış bırakır. Bu durumda füzyon olduğunu söyleriz.

$$\left(\frac{Z^2}{A}\right)_{\text{etkin}} = \frac{4Z_1Z_2}{A_1^{1/3} A_2^{1/3} [A_1^{1/3} + A_2^{1/3}]} \leq 48 \quad (3)$$

ise anlık yaklaşım ve enerji yoğunluğu formalizmi⁵ne göre kaynaşma koşulunun görünmediği söylenir. Bu koşul, nükleer kuvvetin maksimum olduğu uzaklıkta, Coulomb kuvvetinin modülünden daha büyük olan nükleer kuvvet geçeceğini ifade eder.

Başlangıçta küresel olarak düşünülen iki çekirdek, etkileşmelerle bozulur. Çeşitli serbestlik dereceleri uyarılır ve iki iyon arasında yaratılan iki merkezli

bileşik sistemde bir boyun görülür. İki çekirdeğin çarpışması; kütle merkezleri arasındaki R uzaklığı, uygun polar açı, sistemin kütle asimetrisi ve parçaların birinin nötron fazlalığı gibi dört ortak serbestlik derecesi ile betimlenir. Çarpışmanın dinamiksel yorumu Hofmann ve Siemens⁶ tarafından bulunan geçiş denklemleri yardımıyla yapılır.

Koşullar sağlandığında model, derin inelastik etkileşmeler ve bileşik çekirdek oluşumu arasında ara bir mekanizmanın varlığını açıklar. Bu durum, örneğin Ar + Ho sisteminde 340 MeV için görülebilir. Sonuçta böyle bir sistem için $1B_f \leq 1 \leq 1_{cr}$ olduğu zaman yalnızca hızlı fisyon olur. Ağır sistemlerde $0 \leq 1 \leq 1_{cr}$ için ortaya çıkan, hızlı fisyonun özel türüne Swiatecki tarafından quasi-fisyon adı verildi.

Bu şekilde betimlenen makroskopik modele göre hızlı fisyon, bileşik çekirdek oluşumunu izleyen fisyona çok benzeyen özelliklere sahiptir. En gelişmiş deneysel kanıt 10^{-20} s. kadar yarı ömürlü iki merkezli dengelenmiş bir sistem tarafından yayınlanan hafif parçacıklarda görülebilir.

Hızlı fisyon modeli bir taşıma denklemi üzerine kurulduğu için, hızlı fisyon kütle dağılımının FWHM'nı (the full width half maximum) hesaplamaya izin verir. $Z^2/A \leq 38,5$ olduğu zaman, hızlı fisyon eşiği bileşik çekirdek oluşumundan daha büyüktür.

3. DİNAMİKSEL FÜZYON ENGELLERİ

Extrapush modelinde⁷, füzyon koşulunu sağlamak için bazen, değme şekilleniminin üzerinde fazladan bir enerji gerekir. Ağır iyon çarpışmalarının öteki dinamik modellerinde bunun gibi, fakat farklı anlamda olan ek enerji kavramı vardır. Böyle modellerde yüzey potansiyel enerjisi statik bir engel tanımlar. Sistem bu engele ulaşmadan önce sürtünme yüzünden bağlı harekette biraz kinetik enerji yitirdiği için, füzyon eşiği üzerinde bir ek enerji gereklidir. Başka bir anlamda dinamik engel statik engelden farklıdır. Eğer dinamiksel ve statik füzyon engelleri arasındaki enerji farkı ΔE ise,

$$\sigma_F = \pi R_{fl_{cr}}^2 \left[1 - \frac{V(R_{fl_{cr}}) + \Delta E}{E} \right] \quad (4)$$

şeklinde yazılacağı gösterilebilir. Burada $R_{fl_{cr}}$, $l = f.l_{cr}$ 'ye karşılık gelen statik füzyon engelini durumudur. l_{cr} kritik açısal momentum ve f bağlı harekette kalan yörünge açısal momentum miktarıdır. $V(R_{fl_{cr}})$, $R_{fl_{cr}}$ uzaklığında nükleer artı Coulomb potansiyellerinin değeridir. ΔE ek enerjisi, küçük açısal momentum gibi hafif sistemler için sıfırdır.

Statik füzyon modelleri sadece potansiyel enerji düşünceleri üzerine oturtulduğu için, çok ağır sistemler ve çok yüksek bombardıman enerjilerinde ol-

mayan füzyon verilerini oldukça iyi açıklar. Bu durum, statik ve dinamik engellerin aynı olmaları demektir.

4. SONUÇ

Son yıllarda füzyon olaylarının anlaşılmasında büyük aşamalar sağlandı. Dinamiksel engeller ve extrapush, quasifisyon, hızlı fisyon gibi oldukça başarılı görünen yeni olgular öne sürüldü. Aralarında yakın ilişkilerin verimliliğini gösteren kuramcılar ve deneyçiler ile problemlerin aynı anda ortaya atılması büyük yararlar sağladı. Niceliksel olarak füzyon anlaşılır görülse de verilerin iyi bir niteliksel tanımı için çözülemeyen sorunlar vardır.

KAYNAKLAR

1. COHEN, S., PLASIL, F. and SWIATECKI, W.J.: Ann. of Phys. 82, 557, 1974.
2. LEFORT, M., NGO, C.: Nucl. Phys. A216, 166, 1973.
3. BOCK, R., CHU, Y.T. vd.: Nucl. Phys. A388, 334, 1982.
4. BASS, R.: Nucl. Phys. A231, 45, 1974.
5. NGO, C., TAMAIN, B., BEINER, M. vd.: Nucl. Phys. A252, 237, 1975.
6. HOFMANN, H. and SIEMENS, P.J.: Nucl. Phys. A275, 467, 1977.
7. SWIATECKI, W.J.: Nucl. Phys. A376, 275, 1982.